

VI-141

自由断面掘削機の自動掘削システム

戸田建設 正会員 宮内 政男 奥村 利博
戸田建設 山木 昇 高橋 丈雄

1. はじめに

自由断面掘削機によるトンネル掘削は、施工機械・ツール等の大型化及び高性能化により適用される工事が増えてきている。しかし、機械を操作し掘削する方法については従来通り、毎回測量した基準点を基に切羽へ直接マーキング等を行い、それを目視し運転者がカッタドラムを操作している。この方法では運転者の技量によって掘削能力及び余掘量が大きく変わる。また、掘削が完全になっているかの確認は切羽にスケール等を当てて行うため、安全上も問題がある。そこで、スイッチを「自動掘削ON」にすれば誰が操作しても、機械が目的とするトンネルの線形に従った掘削断面を自動測量機でチェックしながら掘れる機械を開発し、工事に適用した。

2. 自動掘削システム

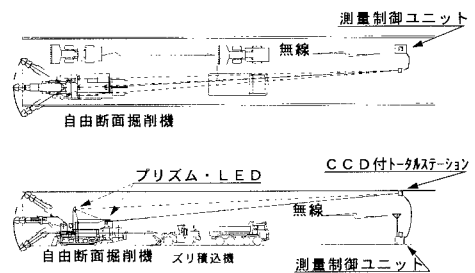
全体の構成は右図に示すように、自由断面掘削機には光波測距用プリズムと画像認識用LEDを定点に固定しており、掘削機制御ユニットでは掘削機の位置姿勢角が入力されると、基準のトンネル断面をカッタが自動掘削できるようプログラムされている。掘削機の後方30～200mに設置したCCD付きトータルステーション及び測量制御ユニットで機械の位置及び姿勢角を常時リアルタイムで測定し、無線によりその位置姿勢データを掘削機制御ユニットに送信し、常に補正された機械姿勢情報をもとにトンネル掘削する。従って、機械が掘削反力等で移動しても精度の良い掘削が可能となる。

位置姿勢測量システム図に示すように、3次元の位置測定は掘削機上のプリズムと自動追尾式トータルステーションで行う。また、機械の3つの姿勢角については機械上の定点に固定したLEDターゲットを測量機に搭載したCCDカメラで捕らえ、画像処理して各ターゲットのCCD上座標を算出し、そのデータから機械の元座標を演算し直し、姿勢角を出す。測定演算は常時行い、結果を機上の制御ユニットに送信する、掘削機は常時補正されたデータに従いトンネル掘削をする。

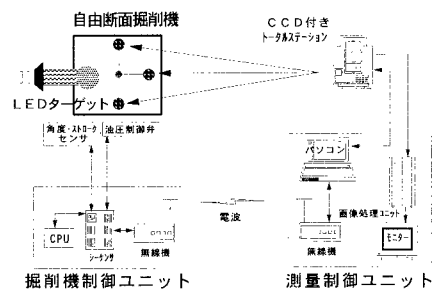
3. 自動位置姿勢測量

掘削機と測量機との位置関係は光波測距等で行うが、このシステムは自動追尾式トータルステーションとプリズムで可能である。同時に測定する機械のローリング、ピッチング、ヨーイング角については、掘削振キーワード：自由断面掘削機，自動化，画像，トータルステーション，トンネル掘削

連絡 先：東京都中央区京橋1-7-1新八重洲ビル，TEL 03-3535-1610，FAX 03-3564-0475



[施工概要図]



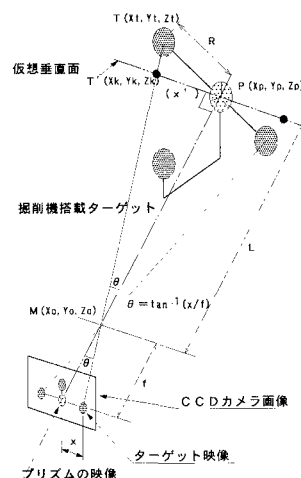
[位置姿勢測量システム図]

動に強く3つの姿勢角を同時に測定するものとして今回の画像によるシステムを採用した。

その測定原理は機械に立体的に配置取り付け付けたLEDターゲットはCCD画面上では測定原理図のように、平面的にターゲット映像として認識できる。ここで、プリズムと各ターゲットとの実位置関係は既知のものとしてコンピュータに入力してある。

姿勢角測定原理手順を示すと

- ① CCD画面上のターゲットとプリズム映像間の距離 x とカメラの焦点距離 f より狭角 θ を算出する。
- ② ターゲットはカメラ軸に対して垂直な面（仮想垂直面）上の T' に投影しているものとして測定した距離 L と①で求めた狭角 θ から T' の座標が算出できる。
- ③ 真のターゲット T の座標は T' と焦点 M を通過する直線上で、なおかつプリズム P 点を中心で、既知である半径 R の球面との交点となる。その解は2通り得られるがターゲット全体映像情報より判断する。
- ④ 同様にして他の2つのターゲット座標を求める。
- ⑤ それらターゲットの3次元座標情報から、自由断面掘削機のピッチング、ローリング、ヨーイングを算出する。

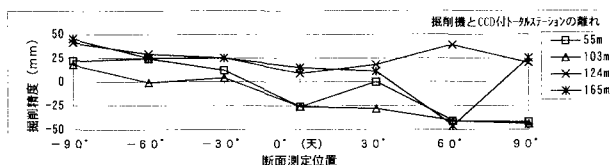


〔測定原理図〕

適用トンネルの一軸圧縮強度は10～30 MPaの砂岩及び泥岩であり、掘削断面は約80 m²、補助ベンチ付き全断面掘削で、鋼製支保工のないパターンが多い現場である。通常の方法は測量結果より掘削開始前に基準掘削線を描き、それを基に熟練した運転者が掘削機のカッタを移動させ掘削する。基準線は掘削中に消えてしまうので、高精度の掘削は容易でなく、掘削中の進行長確認も安全性に問題があった。

掘削機は左右に移動し全断面掘削可能なもので、自動掘削を効率よくするため長いブーム伸縮とカッタ旋回部全体の2 mスライドを装備し、掘削中に前後走行すること無しに左半断面掘削できた。また、左半断面が掘削後に右半断面に走行移動する、それは機械付近の人に対する安全確認ができないため、運転手が操作した。機械のアウトリガー設置後は運転手は自動掘削開始スイッチを「ON」にするだけで掘削でき、掘削能力もカッタ押し付け力を適正に自動制御しているため、手動掘削よりカッタ掘削効率が良い。

掘削精度測定例を右図のに示す。自動掘削機械での目標精度が±50 mm、現場の管理基準が余掘量-0 mm以上であるため、掘削機の支払い基準を余掘り+50 mmに設定し施工した。右の3次元測量機による余掘量測定結果から求めた掘削精度は目標値となった。



〔掘削精度測定図〕

また、測量機と掘削機との距離が3倍に変化しても図のように掘削精度は確保できた。

5. おわりに

今回のシステムは現場適用で高精度の自動掘削が実証でき、ほぼ完成したものとする。熟練労働者の不足が深刻な問題となってきた現在の社会情勢において、このようなロボット化により、品質の向上とレベルを維持していくことはますます重要になるものとする。今後の改良点としては測定可能距離を現在の実績190 mよりも長くし、より精度の高いものとする、及び粉じん等坑内での環境への適用性を更に向上させることである。